

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТА ПЕЧЬ-КОВШ

Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н.

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

В работе предложено использование обобщенных оценок затрат и качества технологического металлургического процесса, учитывающих качество продукции и приемлемость режимов эксплуатации оборудования в целях выбора рациональных режимов управления агрегатом печь-ковш (АПК). В работе принято предположение, что технолог крупного металлургического предприятия заинтересован в получении качественного продукта при неаварийной эксплуатации оборудования и отсутствии видимого, поддающегося контролю, перерасхода материальных ресурсов. Исходя из этого при оптимизации технологического процесса целесообразно использование обобщенных оценок затрат, определенных по отношению текущих затрат ресурсов к плановым нормативам. Полученные соотношения между обобщенными оценками качества и затрат на процесс при различных его продолжительностях использованы при разработке имитационных тренажеров для обучения сотрудников металлургических предприятий и при формировании рекомендации для управления процессом при изменяющейся общей продолжительности операций по обработке стали.

Ключевые слова: обобщенные оценки качества и затрат на процесс; агрегат печь-ковш; распределение ресурсов управления; интеллектуальная система поддержки принятия решений.

The use of generalized estimate of costs and engineering metallurgical process quality, taking into account the production quality and acceptability of equipment operating regime to select rational control mode for a ladle-furnace unit is suggested in the paper. An assumption is accepted that a large-scale plant technologist is interested in acquiring quality products in the process of non-emergency equipment operation with no traceable, controllable over-expenditure of resources. On this assumption it is advisable to use generalized cost estimates determined on the basis of current expenditure – planning standards ratio for the process optimization. The calculated relation between generalized process quality and cost estimates of different process durations are used in the training simulation for metallurgical personnel and in management guidelines for changing general operation duration of steel processing.

Keywords: generalized estimates of quality and process costs, a ladle-furnace unit, management resource allocation; intelligent assistance for decision-making.

Одной из особенностей развития современных технологий управления металлургическими процессами является совершенствование систем поддержки принятия решений технологом-оператором. Функции таких систем могут быть разносторонними начиная с обучения персонала предприятий до анализа текущего состояния процесса и выбора схемы управления – системы помощи в управлении производством (MES – Manufacturing Execution System).

В современных условиях использование MES-систем для выбора технологической схемы на крупном металлургическом производстве является стандартом.

Принцип действия таких систем обычно основан на использовании наборов предварительно сконфигурированных профилей технологических процессов. В профиле, как правило, задаются конечные качество производимого продукта и состояния плавки, которых следует достигнуть (температура, основность шлака, содержания и соотношения содержаний различных примесей в стали), а также алгоритмы, определяющие порядок подачи во времени или по стадиям процесса: вдуваемых газов; топлива/энергии; раскисляющих, легирующих, шлакообразующих и прочих материалов.

Наиболее простым и недостаточно эффективным способом совершенствования возможностей, заложенных в технологии профилей плавки, является наращивание их общего количества в целях регламентации порядка действий в большинстве производственных ситуаций.

Альтернативой является дополнение профилей плавки новыми функциями, например, позволяющими варьировать длительность процесса, придерживаясь тем не менее рациональной схемы использования ресурсов.

Предлагаемая структура MES-системы для выбора режимов обработки стали в агрегате печь–ковш (АПК) показана на рис. 1.

Отличительной особенностью предлагаемой MES-системы является возможность изучения влияния ресурсов управления на производительность агрегата, затраты и качество процесса. Кроме того, предусмотрена функция обучения персонала предприятия.

Качество процесса является комплексным понятием, под которым понимается качество получаемой продукции, вредные воздействия на агрегат, атмосферу и рабочий персонал.



Рис. 1. Структура информационного обмена для предлагаемой системы интеллектуальной поддержки процесса управления АПК:

$\tau_{\text{пр}}$ – время процесса; \vec{y} – вектор контролируемых технологических параметров; $\vec{R}_z, \vec{R}_\phi, \vec{R}_p$ – векторы заданного, фактического и рекомендуемого управления

Для поиска взаимосвязи между обобщенными оценками качества и затрат использовали набор имитационных моделей технологического процесса в АПК. Данные модели, рассмотренные в [1–3], используются при обучении сотрудников металлургических предприятий ОАО «НЛМК» и ОАО «ММК». Особенностью моделей является комплексный расчет всех ведущих физико-химических показателей технологического процесса в АПК, что позволяет получить оценки выбранного режима управления. Важной особенностью моделей является учет режимов перемешивания стали и распределения подводимой энергии дуги в зависимости от ее экранирования шлаком и степени заглибления в металл.

Для обеспечения получения требуемых оценок затрат и качества процесса на производстве стремятся добиться выполнения набора ограничений, устанавливаемых технологическими инструкциями:

$$Q_k^{\Sigma} \rightarrow \max \text{ при } Q_{i \neq k}^j > F_i^j, \quad (1)$$

где Q_i^j – i -й показатель оценки (производительность, затраты, качество) на j -м этапе доводки; F – значение показателя оценки, при котором протекание процесса обоснованно недопустимо; Q_k^{Σ} – обобщенный показатель, по которому стремятся оптимизировать протекание процесса в целом.

Решение данной оптимизационной задачи поисковыми методами с использованием моделей затруднено. Однако, оно возможно путем поиска границ существующих комбинаций обобщенных показателей оценки Q^{Σ} , для формализации которых использовали функцию желательности Харрингтона:

$$Q_k^{\Sigma} \rightarrow \max \text{ при } Q_{i \neq k}^{\Sigma} \geq Q_{\lim}, \quad (2)$$

где Q_{\lim} – минимально допустимое значение обобщенной оценки.

Данный подход предполагает использование геометрического среднего желательности отдельных показателей процесса для получения обобщенной функции Q_p^{Σ} , которая имеет приемлемое качество, когда все отдельные параметры оценки также имеют удовлетворительное качество.

Качество продукта оценивается по показателям температурного и химического соответствия заданным требованиям марки стали и особенностям ее последующего использования (табл. 1). К параметрам, влияющим на оценку приемлемости режимов использования технологического оборудования, отнесли: температуру отходящей воды, охлаждающей свод; долю застывшей стали и мощность, подведенную при статусе “искрение”. В табл. 1 также показаны пределы масштабирования параметров для уровней балльной оценки аргумента функции Харрингтона – 2 и 5.

Эти параметры оцениваются агрегированно для каждого этапа и всего процесса. К найденным агрегированным значениям параметров применяется масштабирование в форме балльной оценки для последующего получения значения обобщенной функции желательности Q_k^{Σ} в форме геометрического среднего. Полученное значение Q_k^{Σ} позволяет дать оценку примененным режимам управления процессом обработки стали в агрегате печь–ковш. Под режимом управления понимается набор значений ресурсов управления на каждом этапе процесса, определяющих обобщенную оценку затрат на процесс Q_3^{Σ} .

Таблица 1

Показатели оценки качества продукта и режимов АПК

Показатель	Уровень оценки 2	Уровень оценки 5
Доля стали с регламентированной температурой, %	0	100 %
Отношение содержания в стали кальция к общему содержанию алюминия в форме: $ 0,11 - [Ca]/[Al]_{\text{общ}} $	0,06	0
Доля стали с содержанием $[Al_2O_3]$ по требованиям, %. Максимум = $0,042 \times [S] / 0,4$. Минимум = $0,042 \times [S] / 0,8$.	0	100
Отношение в стали $[Mn]/[Si]$, отн.	1,5	3,5
Доля стали с $[Al]$, $[S]$, $[O]$, $[Mn]$, $[H]$ по требованиям, %	0	100
Отношение в стали $[Mn]/[S]$, отн.	5	15
Температура воды, охлаждающей свод, °C	35	25
Доля застывшей стали (настыли), %	5	0
Мощность, подведенная в режиме искрения, МВт·ч	2500 МДж*	0

*Принято для отдельной дуги при 1,5 мин работы на 12 ступени.

Интерес представляют режимы, лежащие на границе гиперповерхности существующих комбинаций Q_k^Σ и Q_z^Σ .

Подобные режимы были определены при четырех продолжительностях процесса – 22, 30, 38 и 46 мин (на рис. 2 показаны режимы для 38 и 46 мин). Всего в процессе поиска было рассчитано более 1200 режимов, показанных на рис. 2 совместно с предполагаемыми границами возможных комбинаций Q_k^Σ и Q_z^Σ .

Из множества режимов на границе выбирается один режим, который, во-первых, соответствует желаемому соотношению качества и затрат, а во-вторых, по возможности уже был ранее реализован на агрегате, т.е. имеет доказанную эффективность.

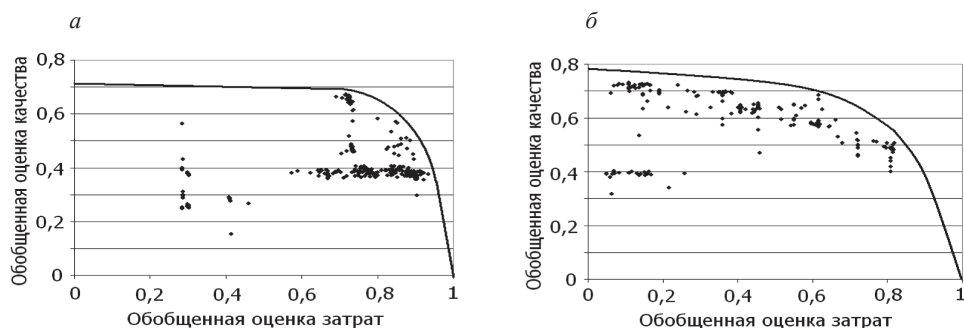


Рис. 2. Границы возможных комбинаций Q_k^Σ и Q_z^Σ для найденных режимов АПК при продолжительностях процесса, мин: а – 30; б – 46 мин

При заданной длительности 46 мин среди указанных режимов при принятых минимально допустимых качестве $Q_{к\text{ мин}}^{\Sigma} = 0,6$ и затратах $Q_{з\text{ мин}}^{\Sigma} = 0,6$, а также приоритете на максимизацию качества система интеллектуальной поддержки принятия решений по выбору режимов АПК предлагает рациональный режим (табл. 2, 3).

Таким образом, за счет изменения допустимых уровней $Q_{к}^{\Sigma}$ и $Q_{з}^{\Sigma}$ и приоритетов между оценками система интеллектуальной поддержки принятия решений может адаптироваться под текущую политику предприятия.

Таблица 2

Значения удельных затрат по статьям для режима № 836

Показатель	Энергия, МВт·ч/т	Аргон, м³/т	Расход смеси, кг/т	Раскислитель, кг/т
Абсолютные	0,0535	0,042	5,7576	0,7576
Q_z	0,5360	0,3182	0,9418	0,8951

Таблица 3

Режим управления № 836 ($Q_{к}^{\Sigma} = 0,68$ и $Q_{з}^{\Sigma} = 0,62$)

№ эта- па	Назначение	Время, мин	Длина дуги, отн.	Аргон*, л/мин	Расход смеси, кг	Раскисли- тель, кг	Степень
1	Зажигание дуг	1	0,2	200	200	0	8
2	Нагрев	6	0,6	350	0	0	12
3	Подача проволоки	12	0,2	500	400	250	6
4	Нагрев	2	0,4	550	400	0	7
5	Десульфурация	20	0,7	650	800	0	7
6	Нагрев	5	0,6	500	100	0	4

Список использованных источников

1. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. Имитационная модель агрегата печь-ковш. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013611212. Б.ПБТ. 2013.
2. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. Математическое обеспечение модели процессов теплообмена агрегата печь-ковш // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1(13). – С. 29–31.
3. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н. Математическое обеспечение имитационной модели процесса управления технологическим режимом агрегата печь-ковш // Автоматизированные технологии и производства. – 2013. – № 5. – С. 54–66.